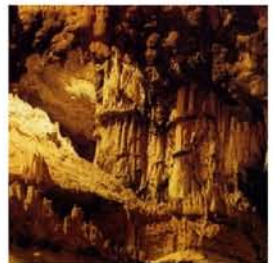
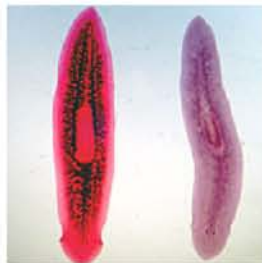


I Jornada científicotècnica Directiva Marc de l'Aigua

Estat ecològic de les masses d'aigua a les Illes Balears

Palma, 26 de novembre de 2009



[ponències]



Govern de les Illes Balears

Conselleria de Medi Ambient
Direcció General de Recursos Hídrics



CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LAS MASAS DE AGUA DE LA PLATAFORMA INSULAR BALEAR UTILIZANDO PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS: CONDICIONES HIDROGRÁFICAS

Jose Luis LÓPEZ-JURADO MARQUÉS*

(*) Instituto Español de Oceanografía – Centro Oceanográfico de Baleares. Muelle de Poniente s/n
CP 07015 Palma de Mallorca.
lopez.jurado@ba.ieo.es

RESUMEN

Durante el transcurso de los años 2008 y 2009 se muestrearon diferentes puntos de la plataforma insular de las Islas Baleares. Estudiándose la distribución espacial y temporal de las principales variables oceanográficas físicas y químicas, así, como su estacionalidad, para caracterizar ese medio ambiente marino. En este trabajo se presenta el estudio hidrográfico de esas aguas, a partir de los datos obtenidos mediante batisondas y de los sensores acoplados a ellas.

Palabras clave: hidrografía, plataforma, masas de agua, estacionalidad.

INTRODUCCIÓN

La “Agencia Balear del Agua y la calidad Ambiental” y el “Instituto Español de Oceanografía” firmaron el 29 de abril de 2008 un convenio para la realización del control de variables químico-biológicas indicadoras del estado ambiental en zonas costeras de las Islas Baleares. A raíz del cual, durante el transcurso de los años 2008 y 2009 se estuvieron muestreando, con carácter trimestral y completando un ciclo anual, 14 puntos a lo largo del litoral de las islas. La toma de datos se llevo a cabo mediante 4 campañas oceanográficas, estudiándose en ellas la distribución espacial y temporal e esas variables y su comportamiento estacional, para establecer un conocimiento e información básica de referencia.

CONDICIONES HIDROGRAFICAS GENERALES DE LA ZONA BALEAR

Las Islas Baleares son el limite natural entre dos sub-cuencas dentro del Mediterráneo Occidental (MEDOC). La Argelina al sur, receptora de aguas de origen atlántico (AA) cálidas y poco salinas, está sujeta principalmente a forzamientos debidos a gradientes de densidad y la Balear al norte, con esas mismas aguas más frías y más salinas debido a un mayor tiempo de permanencia en este mar, está afectada por un apreciable forzamiento atmosférico, fundamentalmente de viento. Los canales entre islas y de estas con la península juegan un papel importante en la circulación regional de la zona y condicionan los intercambios entre ambas sub-cuencas.

Las dos aguas superficiales presentes en la zona son de origen atlántico y pueden ocupar los 150 primeros metros de la columna de agua, las denominamos, el agua “ AA reciente” en el sur y el agua “AA residente” en el norte de las islas. Ambas aguas pueden cruzar los canales y su encuentro da lugar a la aparición de frentes oceánicos que pueden afectar toda esta zona. Las aguas intermedias que encontramos en las islas ocupan la capa entre 200 y 700 metros en la columna de agua. El Agua Levantina Intermedia (ALI), originaria del Mediterráneo Oriental (MEDOR), la encontramos justo encima del Agua Profunda (AP) y alcanza las islas después de recorrer la parte septentrional del MEDOC. Esta presente durante todo el año y se caracteriza por proporcionar el máximo absoluto de salinidad y un máximo relativo de temperatura. Existe otra masa de agua intermedia formada estacionalmente y denominada Agua de Invierno del MEDOC (AIMO). La encontramos por debajo de las aguas superficiales y encima del ALI, con espesores muy variables y se caracteriza por mostrar el mínimo absoluto de temperatura, con valores inferiores a los 13 °C, se forman en los procesos invernales de convección en mar abierto y sobre el talud continental. Las aguas profundas, se forman durante procesos similares invernales en el golfo de León y Mar Ligur, ocupando la parte más profunda de la columna hasta el fondo (Tabla 1).

MASAS DE AGUA	VALORES EN ORIGEN	VALORES LOCALES - IB
AA Recientes	15.0 < T < 18.0 36.15 < S < 36.50	15.0 < T < 28.0 36.50 < S < 37.50
AA Residentes	13.0 < T < 28.0 37.50 < S < 38.30	13.0 < T < 28.0 37.50 < S < 38.10
AIMO	12.5 < T < 13.0 37.90 < S < 38.30	12.5 < T < 13.0 37.90 < S < 38.30
ALI	14.0 < T < 15.0 38.70 < S < 38.80	13.0 < T < 13.4 38.45 < S < 38.60
APMO	12.7 < T < 12.9 38.40 < S < 38.48	12.7 < T < 12.9 38.40 < S < 38.48

Tabla 1

La variabilidad estacional, está controlada por procesos que se desarrollan en toda la cuenca del MEDOC. Así, el forzamiento atmosférico invernal intensifica la Corriente Septentrional (CS) que con origen en el Mar Ligur fluye hacia el canal de Ibiza a lo largo del talud continental, pasando de un transporte de 1 Sv en verano a 2 Sv en invierno. Este mismo forzamiento favorece el proceso de formación de agua estacional de invierno (AIMO) y de agua profunda (AP) que a su vez da lugar a una “cuasi” interrupción del flujo del agua Levantina. Como consecuencia, durante el invierno se registran los valores de salinidad más bajos de esta agua en las islas, para recuperarse posteriormente al final de la primavera y durante el verano. La presencia progresiva de AIMO en el golfo de Valencia y en el canal de Ibiza, a finales del invierno y en primavera, genera un efecto perturbador sobre la circulación, favoreciendo la aparición de estructuras mesoescalares (PINOT et al., 2002). Las cuales pueden bloquear el canal de Ibiza y desviar parte de la CS y de las aguas intermedias hacia el canal de Mallorca, con reforzamiento de la corriente Balear (CB) que corre en dirección nordeste por el talud de las islas alcanzando el norte de Menorca. Durante la primavera, se produce una disminución de la intensidad de la CS debido al decaimiento progresivo del forzamiento invernal y el progreso de aguas superficiales atlánticas en dirección norte a través de los canales (Figura 1).

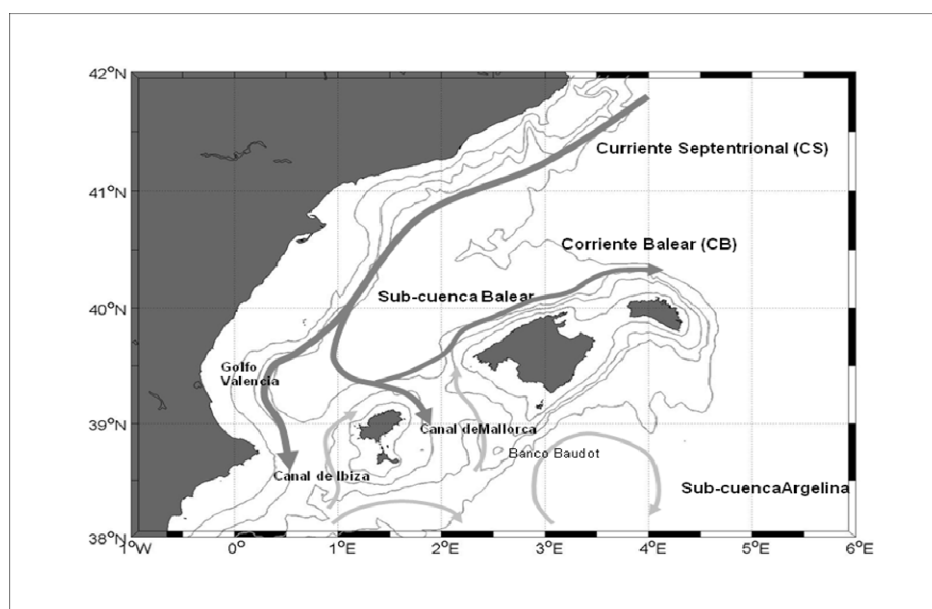


Figura 1

El área sur de las islas se ve afectada en menor grado por esos procesos, pero esta influenciada por la inestabilidad del frente Almería-Orán y por estructuras mesoescalares generadas a partir de la corriente Argelina (MILLOT, 1987). El bloqueo de los canales, pueden producirse por la presencia de grandes giros situados al sur de Ibiza y Formentera que provocarían un estancamiento de la circulación

y el desvío de las aguas superficiales Atlánticas que normalmente progresan hacia los canales de Ibiza y de Mallorca, hacia las islas de Cabrera y Menorca (Font et al, 2004).

La variabilidad interanual de la circulación está relacionada con la variabilidad atmosférica, la interacción Aire-Mar (MERTENS et al., 1998), el efecto de anomalías regionales (MANCA, 2000), globales como el calentamiento global y por tendencias seculares a largo plazo. Las cuales afectan a las variables oceanográficas, al intercambio de flujos (calor), los procesos de formación de masas de agua y finalmente a la circulación regional y general oceánica, generando tendencias y una significativa variabilidad temporal y espacial (VARGAS et al., 2005).

Campaña	Fecha inicio	Fecha final	B/O	Variables
CMA-0408	20/04/08	03/05/08	Odón de Buen	P,T,S,Flu,Oxy,Tur
CMA-0708	18/07/08	06/08/08	Odón de Buen	P,T,S,Flu,Oxy,Tur,p H
CMA-1008	28/10/08	14/11/08	Odón de Buen	P,T,S,Flu,Oxy,Tur,p H
CMA-0309	24/03/09	09/04/09	Odón de Buen	P,T,S,Flu,Oxy,Tur,p H

Tabla 2

AREA DE ESTUDIO Y TOMA DE DATOS

Las 14 estaciones oceanográficas seleccionadas para este estudio están situadas sobre la plataforma insular de las tres islas mayores y distribuidas de forma que 6 estaciones se llevaron a cabo en la isla de Ibiza, otras 6 estaciones en la isla de Mallorca y 2 en Menorca, tal como se puede ver en la Figura 2. La mayoría de estaciones se realizaron entre los veriles de 50 y 100 metros, la máxima profundidad alcanzada fue de 200 metros sobre el talud de la Bahía de Palma. Al mismo tiempo y para valorar la influencia de las aguas oceánicas se tomaron datos en 5 estaciones en mar abierto, 2 en el canal de Ibiza, 2 en el de Mallorca y una al norte de Menorca. Desde abril del 2008 se llevaron a cabo cuatro campañas oceanográficas, abarcando un ciclo anual (Tabla 2).

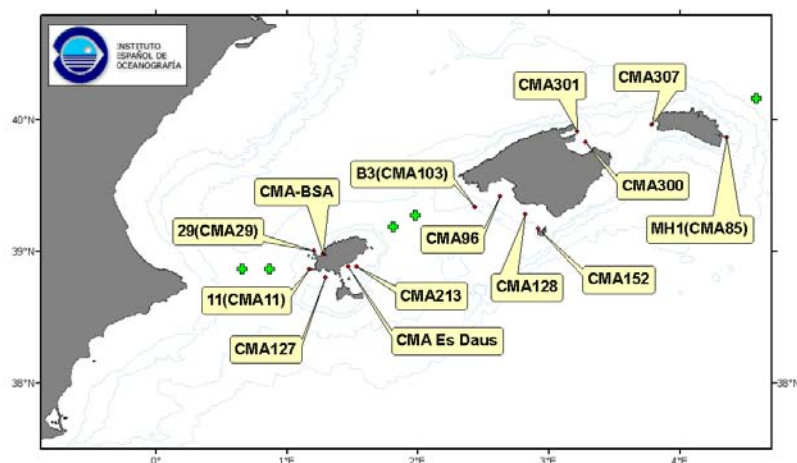


Figura 2

MATERIAL Y MÉTODOS

Los valores de las variables oceanográficas fueron obtenidos mediante el uso de batisondas CTD, SBE911 y SBE25, registrándose series temporales de los siguientes parámetros: presión, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fluorescencia, pH y turbidez. A su vez, se tomaron muestras de agua para determinar su salinidad y calibrar los sensores. La precisión de las medidas de salinidad fue de +0.008. Los valores (T, S) para diferenciar las masas de agua se muestran en la Tabla 1.

RESULTADOS

CICLO HIDROGRÁFICO Y MASAS DE AGUA

A partir de la variación de los valores de la temperatura y de la salinidad observamos como la columna del agua que presenta una marcada estratificación térmica durante el periodo estival, se va transformando durante el otoño, para alcanzar la "cuasi" homogeneización durante el periodo invernal. Este ciclo se inicia con el incremento de la radiación solar en primavera, dando lugar a la generación progresiva de un gradiente de temperatura que junto a la acción del vientos durante la época cálida, propicia la aparición de una capa de mezcla superficial, isoterma e isohalina, que alcanza más de 30 metros durante el verano. Por debajo de esta, encontramos un marcado gradiente de temperatura entre los 30 y 150 metros de profundidad, denominado termoclina, en el cual la temperatura disminuye hasta estabilizarse sobre los 13 °C.

Durante el periodo de estudio, en verano la temperatura superficial alcanzó más de 26 °C en mar abierto y valores más altos en la costa, debido a la menor lámina de agua. Las salinidades medias superficiales oscilaron entre los 37.50 del AA reciente en el sur y los 38.20 de las residentes al norte de las islas, por debajo de estas los valores cercanos a 38.45 psu en profundidad son indicativos de la influencia de las ALI. Durante el otoño y el invierno y debido a la acción de mezclado producida por el forzamiento atmosférico se rompe la estatificación, con una progresiva profundización de la capa de mezcla y la disminución de su temperatura, llegándose a alcanzar una "cuasi homotermia", con valores que van desde los 13 °C en el fondo a los 14 °C en superficie (Figura 3). La salinidad también se homogeniza, formando una capa isohalina que puede afectar a toda la columna en las zonas costeras poco profundas.

En los diagramas T/S de la Figura 4 se aprecia la presencia de AIMO en primavera y verano, los valores del ALI y su decaimiento en invierno y la presencia o ausencia del AP. Las aguas superficiales presentan los valores de T más fríos en invierno, por debajo de los 14 °C en toda la columna, incrementándolos en primavera para alcanzar el máximo en verano, momento en el cual pudimos apreciar un claro gradiente espacial de salinidad entre el sur y el norte de las islas. Durante todo el ciclo los mínimos de S los encontramos en el sur de las islas, apreciándose poca influencia de las aguas intermedias AIMO Y ALI. Las primeras, aunque no están presentes en este ciclo temporal, habitualmente afectan a las aguas de la plataforma insular, las segundas aparecen ocasionalmente en las estaciones más profundas y su influencia es menor.

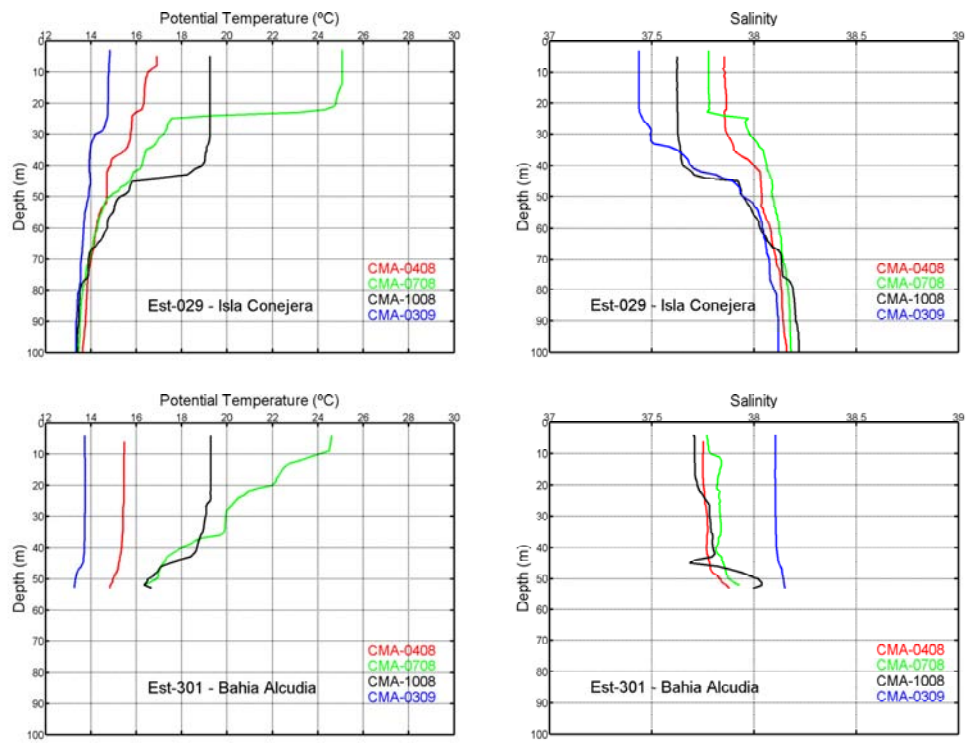


Figura 3. Distribuciones de Temperatura y Salinidad.

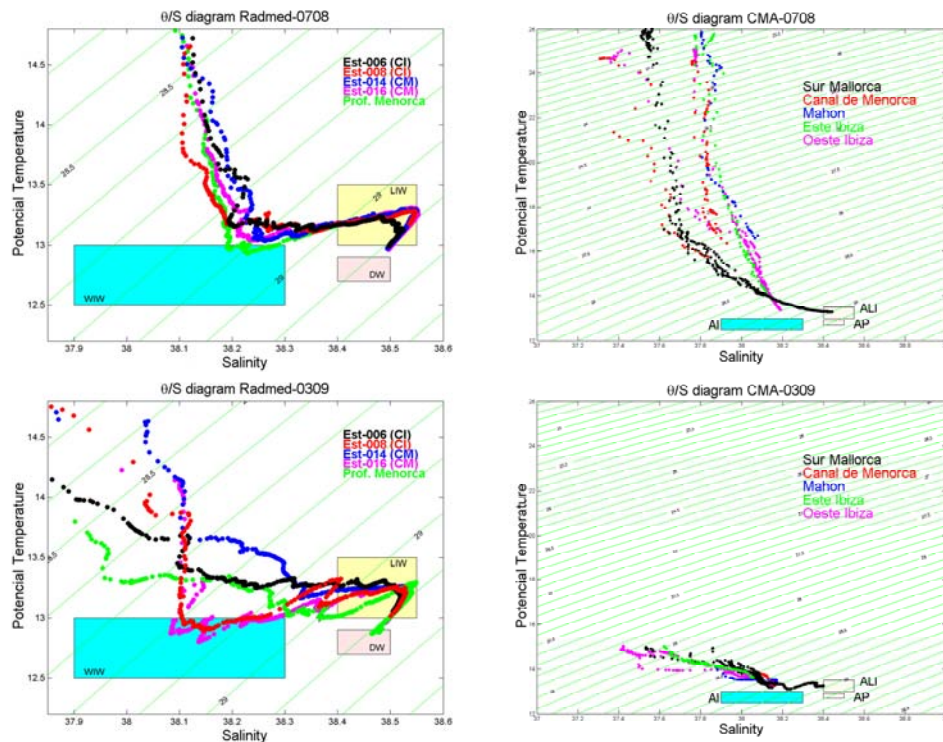


Figura 4: diagramas T/S, en donde los valores superficiales han sido excluidos y las características termohalinas de las masas de agua, están resaltadas mediante cajas.

En las estaciones de plataforma la T mínima se localizó casi siempre en el fondo, sin alcanzar los valores característicos del AIMO ($T < 13^\circ\text{C}$). El mínimo absoluto 13.09°C , fue registrado a 108 metros en la estación de 200 metros al sur de Mallorca durante marzo del 2009. Durante esa campaña se registraron valores de AIMO en ambos canales, siendo ese mínimo un reflejo de la influencia de esas aguas.

Los máximos valores de S se observaron en el fondo, en todas las estaciones, sin alcanzar los valores típicos del ALI. Estas aguas Levantinas se observaron únicamente en la estación del sur de Mallorca (CMA-103). Su influencia, valores de ($S > 38.40$), pueden aparecer en la zona de estudio a partir de los 200 metros. Mientras que los máximos de S y T correspondientes a los núcleos de LIW ($S > 38.45$) aparecen a mayor profundidad, entre los 350 y 500 metros generalmente, en las estaciones de referencia.

FLUORESCENCIA

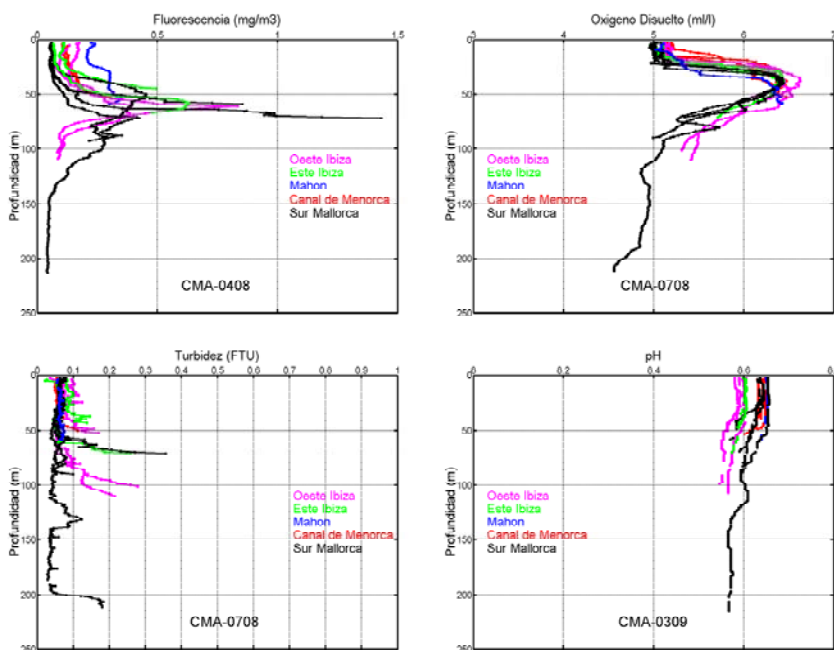
La fluorescencia es la re-emisión de luz previamente absorbida. En el mar, existen diferentes elementos que producen fluorescencia como: la materia orgánica disuelta, algunos pigmentos de las algas y algunas partículas en suspensión. La clorofila-a, pigmento principal de absorción de la luz en las algas fitoplanctónicas, es altamente fluorescente. El fluorómetro proporciona una medida de alta sensibilidad de la fluorescencia, en gran parte debida a la clorofila-a y por tanto la fluorescencia proporciona un método de determinación de actividad biológica en la columna de agua.

La distribución de la clorofila-a y de la producción fitoplanctónica, tanto en mar abierto como en la costa, está vinculada directamente con; la estratificación y la mezcla, el espesor de la capa fótica, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes. En el MEDOC existen diferentes factores que controlan el suministro de nutrientes hacia la capa fótica. Algunos de ellos, como la mezcla invernal o el

intercambio con el Atlántico actúan a escala general, otros como los afloramientos costeros o las descargas de los ríos lo hacen a escala local. En el área de las islas Baleares, la alternancia de períodos de estratificación (primavera-verano) y de mezcla (otoño-invierno) impone una fuerte estacionalidad en la producción fitoplanctónica. La no existencia de afloramientos costeros puede verse compensada por la ascensión de aguas intermedias debidas a los efectos de estructuras de mesoescala como frentes, giros y afloramientos que afectan a nuestras costas.

Una de las características de esa estacionalidad es el empobrecimiento estival de las aguas superficiales, al quedar privadas de los aportes de nutrientes profundos causado por el efecto barrera que produce la termoclina. Por el contrario, debajo de esta, la concentración de la clorofila tiende a aumentar dando lugar a la aparición de máximos profundos de clorofila que pueden alcanzar densidades importantes. Durante el invierno junto con la desaparición de la termoclina y con el mezclado vertical se produce una redistribución de la clorofila a lo largo de la columna de agua, sin llegar a alcanzar concentraciones importantes.

Los valores registrados fueron bajos (Fig. 5a), asimilables con los valores de alta mar. Durante primavera y verano, se observó la profundización de los máximos de fluorescencia por debajo de la termoclina. Si bien, el valor promedio de los mismos ronda los 1.5 mg/l, únicamente se registró un valor aproximado a esos promedios en primavera. Aunque, los valores más altos corresponden al sur de Mallorca, no se aprecian diferencias destacables en ninguna de las estaciones, ni zonas.



Figuras 5

OXIGENO DISUELTO

Su concentración depende de diferentes factores físicos y biológicos; como la temperatura, salinidad, presión y procesos de mezclado como la turbulencia convectiva del mar, la actividad de fotosíntesis y respiración del fitoplancton y de las algas en las zonas costeras, de la respiración de los peces y de la actividad de las bacterias que consumen oxígeno para degradar y mineralizar la materia orgánica.

Los valores registrados por el oxímetro representan bastante bien el ciclo anual de este parámetro. El máximo enriquecimiento de la columna se produce durante el final del invierno cuando las aguas superficiales en contacto con la atmósfera y favorecidas por las bajas temperaturas y la turbulencia invernal absorben la mayor cantidad de oxígeno. Posteriormente, durante la primavera el aumento de

la temperatura y el inicio de la estratificación produce una disminución de su concentración en toda la columna, principalmente en las aguas superficiales. En verano se continua con el empobrecimiento de la capa de mezcla superficial, por debajo de ella y debido a la actividad biológica (fitoplanctónica, algas, bacterias) se produce un aumento, dando lugar al máximo anual de alrededor de 6.5 ml/l en la (Figura 5b) pudiendo alcanzar los 8 ml/l. En otoño, el forzamiento de viento rompe la estratificación produciendo una homogenización en las aguas someras, mostrando valores intermedios, para finalmente en invierno re-iniciarse el ciclo. En las estaciones profundas se pueden ver claramente esos máximos y como por debajo de ellos el contenido de oxígeno disuelto disminuye hasta alcanzar valores próximos a los 4.0 ml/l. Este esquema puede observar modificaciones debidas a la presencia de aguas intermedias. Así, la presencia de AIMO, podría generar máximos relativos en profundidad.

MATERIAS EN SUSPENSIÓN Y TURBIDEZ

La turbidez es una medida de la materia en suspensión en el agua que reduce su claridad, por lo que se puede considerar como una medida de significado medio ambiental que nos proporciona información sobre la calidad del agua y de sus cambios. El turbidímetro detecta la luz refractada por las partículas en suspensión en un volumen establecido, por lo que esta medida depende del tipo de partícula, forma, superficie y de la concentración de las mismas. Las unidades empleadas son las FTU (Formazin Turbidity Units), en donde el valor de 0.022 FTU correspondería a la turbidez del agua pura. La comparación de los valores de turbidez con valores de materia en suspensión (mg/l) debe hacerse con precaución, puesto que no existe una clara relación lineal entre ambas medidas, en parte debida a la diferente "respuesta" de esa materia según su tamaño y composición.

Por termino medio, las materias en suspensión en mar abierto oscilan entre 0.5 y 2 mg/l. En general, estos valores son superiores en los mares cerrados como en el Mar Mediterráneo donde puede alcanzar los 5-6 mg/l. En las zonas costeras estos valores pueden alcanzar los 10 mg/l, debido a las aportaciones terrigenas (15-20 mg/l). Como se puede ver en las gráficas de la Figura 5c los valores de turbidez son bajos sin superar en ningún caso lo 0.2 FTU, en cambio en la proximidad del fondo estos valores aumentan, pudiendo alcanzar valores superiores a 0.5 FTU y superiores. Este incremento podría estar relacionado con la presencia de corrientes que generan turbulencia por fricción con el fondo, con el consiguiente aumento de materia en suspensión.

pH

El mar es un medio ligeramente alcalino con valores de pH que oscilan entre 8.1 y 8.3. Estos valores pueden variar en función de diferentes factores como; la temperatura (si T aumenta, el pH disminuye), también puede variar en función de la salinidad, de la presión, de la concentración de CO₂ y de la actividad vital de los organismos marinos como la fotosíntesis que favorece la alcalinidad. El pH influye en la actividad biológica de las especies y los seres marinos, influyendo estos a su vez sobre el pH por medio de la respiración y de la fotosíntesis. La fotosíntesis aumenta el pH, la producción de oxígeno y consumiendo CO₂ hace que el pH aumente, por lo que las algas cuando realizan la fotosíntesis elevan el pH del medio, pero bajan ese pH de nuevo por la noche al eliminar el CO₂. Las variaciones del pH en relación con la vertical se producen básicamente en la zona fótica (0-80 m), y más concretamente en los primeros 50 m. A partir de la cual, los valores de pH decrecen ya que hay menores concentraciones O₂ y elevadas de CO₂. Posteriormente, los valores de pH aumentan con la profundidad hasta estabilizarse sobre 8.5.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FONT, J et al, (2004). Tracking a big anticyclonic eddy in the Western Mediterranean. *Sci. Mar.* 68 (3), 331-342.
- MANCA, B (2000). Recent changes in dynamics of the Eastern Mediterranean affecting the water characteristics of the adjacent basins. CIESM WORKSHOP SERIES 10. Mónaco.
- MERTENS et al., (1998). Interannual variability of deep water formation in the Northwestern Mediterranean. *J. Phys. Oceanogr.* 28 (7), 1410-1424.
- MILLOT, C (1987). Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta* 10 (2): 143-149.
- PINOT et al., (2002). The CANALES experiment (1996-98): Interannual, seasonal and mesoscale variability of the circulation in the Balearic channels. *Prog. Oceanogr.* 55, 335-370.
- VARGAS, M et al., (2005). Trends and time variability in the northern continental shelf of the western Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110.